

デジタル通信伝送路の構成と設計に関する研究

著者	小島 伸哉
号	994
発行年	1988
URL	http://hdl.handle.net/10097/12012

氏 名	小 島 伸 哉
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和63年6月8日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭和34年3月 東北大学工学部通信工学科卒業
学 位 論 文 題 目	デジタル通信伝送路の構成と設計に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 米山 務 東北大学教授 安達 三郎 東北大学教授 川上彰二郎

論 文 内 容 要 旨

デジタル通信伝送路実現のための諸技術は多彩な電気通信サービスの提供を可能とする、サービス総合デジタル網（ISDN；Integrated Services Digital Network）の構築に必要な技術であり、伝送路については、加入者宅と電話局間の加入者系から、全国の電話局を結ぶ陸上および海底の長距離基幹系までの各種のデジタル通信伝送路の開発が必要である。

本研究は加入者系から陸、海の長距離基幹系にわたる通信伝送路のデジタル化、広帯域化を目的としたデジタル通信伝送路の構成と設計に関するもので、次の4つの主要課題からなっている。

- (1) 帯域幅4kHzのアナログ信号伝送用に設計されてきた、加入者宅から電話局までを結ぶ既存の市内ケーブルについて、高速なデジタル信号伝送を目的とした、漏話特性と伝ぱん特性の標準値の把握に関する研究。デジタル信号伝送方式の設計や、その中継器の設計のために約170種類にわたる多種類の我が国の既存市内ケーブルをどのように分類、集約して簡易な標準値を把握するかが研究の主要課題である。
- (2) 既存市内ケーブルの伝送能力に較べて高速のデジタル信号伝送を目的とした新しい平衡ケーブルの設計に関する研究。最も経済的な平衡ケーブルの設計手法、符号誤り率との関連における漏話特性とクロック周波数との関係の把握、平衡ケーブルによる伝送可能な限界のクロック周波数の把握が主要課題である。
- (3) 超高速なデジタル信号を伝送する長距離基幹系の同軸伝送路の建設や保守の簡易化を目的とした広帯域同軸伝送路の構成に関する研究。デジタル信号伝送や電話信号伝送で許容される同軸ケーブルの接続点間距離の明確化と中継器をマンホールに収容可能とするための同

軸ケーブルによる電力伝送方式の実現が主要課題である。

- (4) デジタル通信伝送路の建設領域の海域への拡大をねらいとした海底光ファイバケーブルの設計とその伝送路の構成に関する研究。光ファイバの海底ケーブル化を可能とするケーブル構造とその設計手法、ケーブルの布設および引揚げ時の光ファイバの伸びの把握と光ファイバの破断を防止するためのプルーフテスト値の設定、海底ケーブル化により損失が増加しない光ファイバのパラメータの選定、建設、保守を通じての経済的な海底伝送路の構成手法の明確化が主要課題である。

本論文はこれらの研究に対応して次に示す内容からなっている。

第1章は緒言であり、本論文の導入部の役割をもつ。研究の目的、歴史的背景と必要性を述べ、併せて概要と成果を記述している。

第2章では既存市内ケーブルの漏話特性と伝ぱん特性に関する研究について述べている。電話局と加入者宅を結ぶ加入者系でのデジタル信号伝送あるいは高速ファクシミリやテレビ会議等の新サービスの導入に際しては当面、既存の各種市内ケーブルの利用を考慮しなければならない。その利用に際して明らかにしなければならないことの1つに漏話特性と伝ぱん特性がある。本章で取り扱ったものはつぎのとおりである。近端漏話減衰量、遠端漏話減衰量、ケーブルの2次定数すなわち特性インピーダンスと伝ぱん定数、2次定数のばらつきの程度とその温度特性である。漏話減衰量については、漏話特性測定のための予備考察にもとづき群別測定の原理を提案し約170種類のケーブルを3種類のケーブルに集約して分類できることを示し、各ケーブルについてその平均値と標準偏差を求め、我が国の既存市内ケーブルの漏話減衰量の標準値を把握した。ケーブルの2次定数についてはケーブルの種類が多いので実測による標準値の把握は困難を極めるため、実用的な理論式を導入し理論値と実測値を比較し、両者がよく一致することを確かめ、理論値にもとづいて標準値を設定した。中継器を含めた方式の設計に役立つように計算値を詳細に記載している。また2次定数のばらつきについても市内ケーブルの規格値と実測値の両面から検討を加え、市内ケーブルに適用できると考えられる値を求めた。また2次定数の温度特性についても測定結果を示し、理論から予測できる値とよく一致することを確かめた。以上により多種類の既存市内ケーブルの漏話特性と伝ぱん特性を要約して明らかにでき、電話局から加入者宅までの加入者系のデジタル化や各種の新サービスの導入に際しての方式設計、既存市内ケーブルの利用の方法および中継器の設計のための基礎資料を提供できた。本研究結果はデジタル信号を伝送するための加入者系の研究の唯一の基礎資料として広く用いられており、現在その研究が大幅に進捗している。

第3章ではデジタル信号伝送用平衡ケーブルの設計に関する研究について述べている。第2章では既存市内ケーブルの漏話特性と伝ぱん特性について記述したがより一層高速のデジタル信号を伝送するためには、新しいケーブルの開発を目指した研究が必要となる。経済性の観点からの研究により、その設計指針が得られるので、本章では最初に経済性の観点からの研究を実施している。すなわち、伝送路コストを最小とする中継器価格と心線導体径の関係、中継器価格と減衰量による多重化限界周波数の関係、中継器価格と遠端漏話減衰量による多重化限界周波数の関係などケーブル設計に際しての基本的諸関係を明確にしてケーブルの設計指針と設計手法を得ている。この設計

指針によれば平衡ケーブルでの伝送速度の大きな制限要因は漏話特性である。漏話特性を改善する技術手段のひとつに平衡対をしゃへいする方法が考えられる。従来2つのしゃへい導体の影響を考慮した1次定数の解析例はないので、本章ではしゃへい平衡ケーブルの1次定数を一般的に計算できる理論式を導出し、計算値と実測値を比較して両者が良い一致をみることを把握した。さらに平衡対間の距離を一定としたとき減衰量が最小となる心線導体径が存在することを提言して、損失最小設計手法を明らかにしている。この設計手法によれば従来の平衡ケーブルに較べて大幅な経済化を達成できる。またしゃへいされた平衡対の集合について符号誤り率と対応させてケーブルの設計に際して所要の信号対多重遠端漏話電力比と所要の漏話減衰量の標準偏差を明らかにしている。本研究の結果を適用して設計したユニットしゃへい平衡ケーブルについては、日比谷-武蔵野通研間(約30km)で、クロック周波数100MHzという平衡ケーブルを用いての世界最高速度の伝送実験を実施し、平衡ケーブルで伝送可能な実用的なクロック周波数は100MHzであることを把握した。本線路は日比谷のNTT本社と武蔵野通研間を結ぶ線路として以来使用されている。また伝送速度1.5Mb/s用のケーブルについても現場試験を実施した。これらの研究結果にもとづいて、テレビ電話用の広帯域対形ケーブルと加入者ケーブル用のPECケーブル(Foamed Polyethylene Insulated Color Coded Conductor Cable)が実用化された。

第4章では広帯域同軸伝送路の構成に関する研究について述べている。従来電電公社では、同軸伝送路を建設するに際して中継器から同軸ケーブルの第1接続点までの距離と同軸ケーブル相互の接続点間距離がともに100m以上必要であると規定していたため、この距離の確保の必要上、新しい同軸伝送路ルートの建設等の際には既設のマンホール間距離の修正工事等に大きな困難があった。そこで、まず同軸伝送路構成手法を、接続点間距離の観点から明らかにしている。即ち、各種エコー雑音電力の計算式を導出した同軸伝送路の不均等部の大きさを測定により把握して、許容される接続点間距離を明確にしている。PCM-400M方式については、デジタル信号伝送における伝送品質の観点から平均接続点間距離は0.05km以上でよいこと、中継器からケーブルの第1接続点までの距離に対する制約は不要であることを明らかにした。C-60M方式電話信号伝送に対しては市外基幹回線の損失変動標準偏差の規定値より、ケーブルの平均接続点間距離は0.02km以上でよいこと、また中継器からケーブルの第1接続点までの距離についての制約は不要であることを明らかにした。また同軸伝送路のデジタル化、広帯域化に伴い、中継間隔が短くなったため中継器のマンホール内への収容技術が伝送路構成上必須の技術となってきたので、中継器へ電力を伝送する同軸伝送路構成手法と電力伝送装置の設計手法を明らかにしている。以上の研究により我が国の基幹伝送路について、従来不明確であった建設・保守基準を明確にでき、その省力化、経済化に大きく貢献している。また、初めて中継器のマンホール内収容を可能とし、経済的な大容量同軸伝送路の構成を実現している。

第5章では海底光ファイバケーブルの設計とその伝送路の構成に関する研究について述べている。海底同軸ケーブルに較べて中継距離を格段に長くでき、伝送路の高信頼性を確保できるので、海底光ファイバケーブルによって初めて海底デジタル伝送路の実現が可能となる。最初に海底光ファイバケーブルおよびその伝送路が満たすべき諸条件について考察を加え、これらの諸条件を満たす

ケーブル構造およびその伝送路構成手法を提案している。この構造案と伝送路構成手法に基づき、布設時に光ファイバ集合体の中心支持体に作用する張力を解析し、中心支持体の設計手法を明確にした。またケーブル布設時等に、光ファイバに加えられる外力から光ファイバを保護するための耐圧管内での光ファイバの移動を防止できる中心支持体と光ファイバの密着力を解析して、光ファイバ集合体の構造設計手法を明確にしている。次いでケーブル布設時に印加される最大張力、カテナリー状での引揚時と切断された片端からの引揚時の張力を理論的実験的に明確にして、ケーブルに働く張力を把握し、ケーブルの伸び特性から光ファイバの伸び歪みを明確にした。併せて布設時、引揚げ時等に上述の光ファイバの伸び歪みに耐えて、光ファイバの破断を防止する観点から、海底ケーブル用光ファイバにプルーフテストを実施することとし、このプルーフテスト条件を設定する基本式を導出して、ケーブルの各布設水深に対して所要とされるプルーフテスト条件を光ファイバの破断確率との関連において明確にしている。また海底ケーブル化に耐え損失増を抑止しうるファイバパラメータを明確にしている。更に適切な接続函設置間隔は、伝送路長に関して不連続関数でほぼ周期的な波状関数となるが、その平均的な値は伝送路長によらずほとんど一定であることを示し、現実的な諸数値を考慮した接続函設置間隔は障害率の差異により、浅海部では約5～10km、深海部では1中継区間無接続とするものが最も経済的であることを明らかにした。また海洋実験を実施し、本章で検討した海底光ファイバケーブル伝送路の設計手法の実用性と妥当性を確認した。本研究結果に基づき、九州ー沖縄間、八戸ー苫小牧間、青森ー函館間等に海底光ファイバケーブル伝送路が布設された。

第6章では以上の章で論じた研究のまとめと今後の課題について述べている。

以上を要約すれば本研究は、通信伝送路のデジタル化のための伝送路の構成と設計に関する研究を実施したものであり、デジタル通信伝送路の実用化に大きく貢献して、我が国のサービス総合デジタル網の構築に対して技術基盤を提供したものである。

審 査 結 果 の 要 旨

情報伝送において多様な情報源に柔軟に対応するにはデジタル方式が経済性、信頼性の点で優れている。しかし、音声や画像などのアナログ信号をデジタル伝送する際には原信号に比べて約1桁広い周波数帯域が必要であり、そのため広帯域伝送路の開発が重要となってきた。本論文はデジタル信号に適した伝送路の構成法、設計法の確立を目的として著者がこれまで進めてきた研究の成果をとりまとめたもので全編6章よりなる。

第1章は緒言である。

第2章では、既存の市内ケーブルの伝送特性を10MHz以上の周波数帯域にわたり検討し、デジタル信号伝送の方式設計などに有用な基礎資料を提供している。

第3章では、高速デジタル信号伝送を目的に新たに開発したユニットシャヘイ平衡ケーブルについて述べている。線路の設計には電気的特性の他に材料費などの経済性も考慮し、距離30kmにわたる伝送実験ではクロック周波数100MHzという平衡ケーブルとしては世界最高速の成果をあげているが、これは高く評価される。

第4章では、同軸ケーブルによるデジタル信号伝送において問題となる線路の接続点などで発生するエコーと符号誤り率の関係を明らかにしている。その結果、従来100m以上必要とされていた接続点間距離はクロック周波数400MHzでも50mあればよいこと、中継器とケーブルの接続ではエコーの影響は無視できることなどを見出している。これによりケーブルの建設や修理に要する時間と経費の大幅な軽減が可能となるが、これは重要な知見である。

第5章では、海底光ファイバケーブルの構成法について検討し、高い水圧下での布設や修理のための引き揚げ時の張力に耐え、しかも伝送特性の劣化をきたさないケーブルの構造を提案するとともに、ケーブル化に伴う損失増加を軽減できるファイバパラメータとしてコア直径9 μm 、比屈折率差0.3%が最適であることを指摘している。

第6章は結言である。

以上要するに本論文は、デジタル信号伝送路実現のため、各種伝送ケーブルの広帯域特性を解明するとともに、経済性も考慮した設計理論を確立するなど、伝送工学上有用な知見を与えたもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。